

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКИХ СКЛОНОВ ГОРОДСКИХ МАГИСТРАЛЕЙ

*Кубахова Анжелика Сабировна, Соложенко Татьяна Васильевна, Азроян Саак Альбертович, Буглаев Ростислав Николаевич магистранты 2-го курса кафедры «Строительства и эксплуатации транспортных сооружений» Волгоградский государственный технический университет  
Институт архитектуры и строительства, г. Волгоград  
(Научный руководитель – д-р. техн. наук, проф. Алексиков С.В.)*

Склон возле стадиона Волгоград Арена был обустроен в 2018 году перед чемпионатом мира по футболу. В июле этого же года ливнем смыло часть земляного склона и тротуар, в непосредственной близости от стадиона. На рокадную дорогу сползло значительное количество грунта. В течение августа 2018 года были проведены работы по засыпке склона и восстановлению тротуара. Однако после этого склон несколько раз сползал в сторону Волги. (Рис. 1-3).

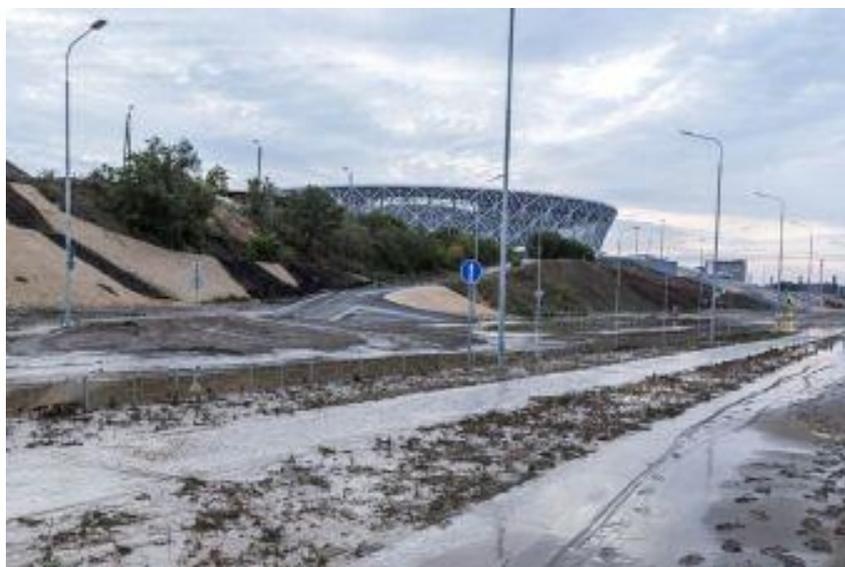


Рисунок 1 – Размытый участок возле рокадной магистрали

Предварительное обследование показало, что укрепление склона было сделано некачественно. Ошибочно запроектированная система водоотвода стала причиной размыва грунта. На рисунке 2 видно, что большую часть склона составляет песок и супесь, которые легко размываются.



Рисунок 2 – Размытый склон возле стадиона Волгоград Арена

Во время ливня грунт был вынесен на Нулевую рокадную магистраль, чем затруднил движение транспортных средств по ней. Образовавшиеся промоины в грунте возле магистрали чуть не стали причиной дорожно-транспортного происшествия.



Рисунок 3 – Обрушения тротуарной зоны после ливневых дождей



Рисунок 4 – Размытый участок возле рокадной магистрали

На тот момент была создана экспертная комиссия, которая сделала заключения о ЧП и было назначено проведение ремонтных работ. К сожалению ситуация повторилась.



Рисунок 5 – Размытый склон возле стадиона Волгоград Арена

Летом 2019 года на участке велись работы по восстановлению склона.



Рисунок 6 – Восстановленный участок склона



Рисунок 7 – Восстановленный склон



Рисунок 8 – Щебёночный слой

Как и в прошлый раз, склон укрепляли песком, георешётчатой сеткой и щебнем.



Рисунок 9 – Слой щебня и георешётка



Рисунок 10 – Георешётка заполненная щебнем

На данных рисунках представлены ливневые стоки.



Рисунок 11 – Ливневые стоки возле Нулевой рокадной



Рисунок 12 – Обновленная ливнёвка



Рисунок 13 – Ливневый сток



Рисунок 14 – Ливневый сток

На данный момент склон восстановлен, но уже сейчас на склоне видны сползающие слои.

Решить проблему устойчивости склонов можно путём обеспечения его устойчивости на сдвиг и укрепление синтетическими материалами.

Расчеты устойчивости земляного полотна проводятся применительно к периодам неблагоприятного состояния грунтов. Расчеты основываются на закономерностях механики грунтов, изучающей деформации и сопротивления грунтов внешним нагрузкам.

Устойчивость откосов земляного полотна оценивается величиной коэффициента устойчивости  $K_{уст}$  ( $\eta$ ), определяемого из основного уравнения статики

$$K_{уст} \geq \frac{M_{уд}}{M_{опр}}$$

где  $M_{уд}$  — момент удерживающих сил;

$M_{опр}$  — момент опрокидывающих сил.

Согласно действующим нормативным документам, устойчивость земляного полотна считается обеспеченной, если требуемый коэффициент устойчивости  $K_{уст}$  больше 1.

Существуют разные методы расчета устойчивости:

- Метод Н.Н. Маслова
- Метод Феллениуса
- Метод Бишопа
- Метод Моргенштерна-Прайса
- Метод Шахуянца
- Метод Н.Н. Маслова оценки устойчивости склонов и откосов.

Это один из широко известных приближенных методов, названный автором методом равнопрочного откоса или методом  $F_p$ . Равнопрочным принято называть такой откос, у которого в любом горизонтальном сечении обеспечена устойчивость слагающих его горных пород, т.е.

$$\eta = \frac{tg \psi_{\delta}}{tg \alpha} = 1$$

где  $\alpha$  - угол наклона склона или откоса в пределах рассматриваемого горизонта горных пород;

$\psi_{\delta}$  - угол сопротивления сдвигу того же горизонта пород при нормальном напряжении.

Угол сопротивления горных пород сдвигу определяют из уравнения:

$$F_{\delta} = tg \psi_{\delta} = \frac{\tau}{\sigma} = tg \varphi + \frac{C}{\sigma}$$

где  $F = tg \psi$  - коэффициент сдвига горных пород при нормальном напряжении. Н.Н. Маслов коэффициент сдвига обозначает через  $F_p$ ;

- $\tau$  - сдвигающее усилие;
- $\delta$  - нормальное уплотняющее напряжение;
- $C$  - общее сцепление.

В склоне или откосе, где действуют напряжения от собственного веса горных пород, коэффициент сдвига на любой глубине  $Z$  равен:

$$F_{\delta} = \operatorname{tg} \varphi + \frac{C}{\gamma_{\text{ср}} Z}$$

где  $\gamma_{\text{ср}}$  - средний объёмный вес горных пород от поверхности земли до глубины  $Z$ .

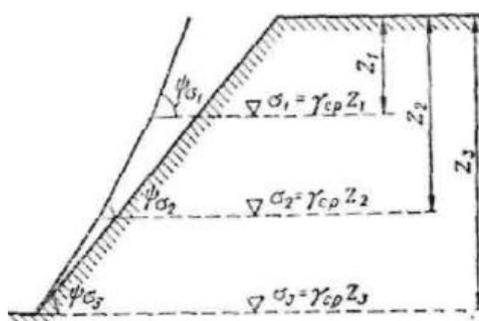


Рисунок 15 – Геологический разрез склона

Для равнопрочного откоса при предельном равновесии на каждом горизонте  $Z_i$  угол наклона откоса в пределах этого горизонта  $\alpha_{\text{ср}}$  численно должен быть равен углу сопротивления сдвигу пород рассматриваемого горизонта.

Таким образом, зная угол сопротивления сдвигу горных пород каждого горизонта, слагающих склон или откос, и учитывая распределение напряжений от собственного веса пород, можно наметить очертание устойчивого склона или откоса.

На рисунке 15 видно, что в геологическом разрезе склона выделены 3 слоя с соответствующими характеристиками  $\gamma$ ,  $\varphi$  и  $C$ . учетом нормального уплотняющего давления от собственного веса пород  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\delta_3$  определены значения коэффициентов сдвига  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  и углы сдвига для каждого слоя. По значениям углов сдвига пород намечено очертание устойчивого откоса. Так как реальный склон положе предельно устойчивого (расположен правее), то он устойчив.

#### Метод Феллениуса. Метод круглоцилиндрических поверхностей

Разработан графоаналитический метод: задаются очертанием откоса и проверяют устойчивость откоса путем вычисления коэффициента устойчивости.



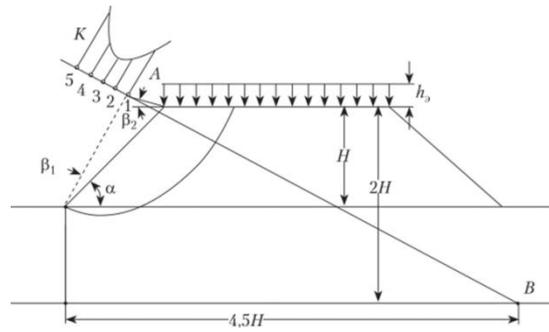


Рисунок 17 – Расчетная схема для нахождения центров кривой скольжения: 1, 2, 3, 4, 5 — центры кривых скольжения; К — коэффициент устойчивости

Продолжение линии ЛВ является геометрическим местом центров кривых скольжения. Определенному положению центра кривой скольжения соответствует минимальное значение коэффициента устойчивости  $K_{уст}$ .

Для того чтобы найти наиболее опасное положение кривых скольжения, намечают несколько возможных положений кривых скольжения. Например, может быть намечено семейство кривых, проходящих через подошву откоса и выходящих на поверхность в  $1/4$ ,  $1/2$  и  $3/4$  ее ширины.

Положение центра каждой кривой скольжения находят на пересечении перпендикуляра, восстановленного из середины хорды, стягивающей концы кривой скольжения, с продолжением прямой ЛВ.

Для каждой кривой определяют коэффициент устойчивости. Для этого массив грунта разбивается вертикальными плоскостями на ряд призм шириной 3—5 м и толщиной 1 м (перпендикулярно чертежу). Вычисляется вес каждой призмы. Вес подвижной нагрузки от автомобилей учитывается введением эквивалентной нагрузки, добавляемой к весу грунтового массива.

В соответствии с п. 5.2.2 ГОСТ при расчете устойчивости подпорных стенок и откосов насыпи нормативная нагрузка (далее — ПК) от транспортных средств приводится к эквивалентному слою грунта земляного полотна по формуле где  $K = 8,3$  — нормативная нагрузка НК, кН;  $d = 3,6$  — база нормативной нагрузки ПК, м;  $c = 2,7$  — колея нормативной нагрузки НК, м;  $\gamma_{гр}$  — плотность влажного грунта, кН/м<sup>3</sup>.

$$h_3 = \frac{4 \cdot 18 \cdot 8,3}{(3,6 + 0,2)(2,7 + 0,8) \cdot 20} = 2,25 \text{ м.}$$

$$h_3 = \frac{4 \cdot 18K}{(d + 0,2)(c + 0,8)\gamma_{гр}}$$

Соответственно удельное давление на поверхности насыпи

$$p = h_{э} \gamma_{гр} = 2,25 \cdot 20 = 44,93 \text{ кН/м}^2.$$

Полученная распределенная нагрузка  $p$ , во-первых, неизменна для дорог всех категорий, во-вторых, завышена по сравнению с европейскими нормами.

Силу тяжести каждой призмы переносят из центра тяжести на линию скольжения. Определяют моменты сдвигающих и удерживающих сил относительно центра кривой скольжения

$$K_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} = \frac{R \sum_1^n (Q_i \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + Cl_i)}{R \sum_1^n Q_i \sin \alpha_i} = \frac{\operatorname{tg} \varphi \sum_1^n Q_i \cos \alpha_i + CL}{\sum_1^n Q_i \sin \alpha_i},$$

где  $L$  — длина кривой скольжения.

Силы  $Q \sin \alpha$ , призм, расположенные слева от вертикальной оси, проходящей через центр  $O$ , войдут в знаменатель со знаком «-», так как будут действовать против направления скольжения массива. На этом основан эффект повышения устойчивости откосов пригрузкой подошв насыпей.

Метод круглоцилиндрических поверхностей не дает возможности сразу запроектировать откос с данным заранее коэффициентом устойчивости. Задача решается методом последовательных приближений. Если для какого-нибудь положения кривой скольжения получится  $K_{уст} < K_{ур}$ , то откос следует перепроектировать.

#### Литература:

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Склон>
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Волгоград\\_Арена](https://ru.wikipedia.org/wiki/Волгоград_Арена)
3. <https://yug.svpressa.ru/sport/article/152493/>
4. <https://novikovski.livejournal.com/638831.html>
5. Руководство по проектированию береговых укреплений на внутренних водоемах
6. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293801/4293801295.pdf>
7. Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог
8. <http://www.vniig.rushydro.ru/upload/iblock/4cc/Dissertatsiya--1-17.10.pdf>
9. [https://studme.org/271736/stroitelstvo/raschet\\_ustoychivosti\\_otkosov\\_zemlyanogo\\_polotna](https://studme.org/271736/stroitelstvo/raschet_ustoychivosti_otkosov_zemlyanogo_polotna)
10. <https://www.geoset.pro/download/guides/GeoStab%20%20UserGuide.pdf>